

# Sistema de Información Geográfica integrado con un sistema logístico basado en el Problema de Ruteo de Vehículos

de San Pedro M.E., Lasso M., Serón N.,  
Carrizo, A., Montenegro C., Moyano A.  
Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)  
Unidad Académica Caleta Olivia  
Universidad Nacional de La Patagonia Austral

e-mail: {edesanpedro, mlasso, nseron, acarrizo, cmontenegro, amoyano}@uaco.unpa.edu.ar

## Resumen

Este proyecto abarca, en cuanto a su estudio y aplicación, dos temáticas relacionadas para su integración y desarrollo.

En primer lugar, y como disparador principal para llevar adelante este proyecto, es la investigación de nuevas tecnologías en el área de conocimiento que involucra a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su aplicación a distintos problemas de logística, que permita desarrollar una herramienta capaz de abordar problemas de planificación y gestión para la toma de decisiones.

Por otro lado, el estudio del problema de ruteo de vehículos, como uno de los problemas de optimización combinatoria de gran importancia en diferentes entornos logísticos, sobre los cuales, en varios proyectos de investigación anteriores, parte de los integrantes tiene una amplia experiencia en el estudio de diferentes metaheurísticas de optimización, demostrado a través de una extensa producción científica sostenida durante más de veinte años.

Considerando estas dos temáticas abordadas desde diferentes ámbitos de investigación y desarrollo, se plantea como objetivo para este proyecto, el estudio de las herramientas tecnológicas para lograr la integración entre el SIG, la información logística del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), los modelos matemáticos y técnicas metaheurísticas de optimización que permita resolver los problemas de ruteo de vehículos.

**Palabras clave:** *Sistema de Información Geográfica, Metaheurísticas, Optimización de recorridos, Problema de Ruteo de Vehículos.*

## Contexto

Esta línea de investigación comienza como una actividad de Vinculación Tecnológica entre la Universidad y la Municipalidad de Caleta Olivia [Serón et al. 2008], y continuó en el marco de la convocatoria a becas de innovación tecnológica que ofrece todos los años la Fundación del Banco Santa Cruz, a las cuales se ha podido acceder en dos oportunidades [de San Pedro et al. 2009], [Serón et al. 2010a], [Serón et al. 2010b].

Con el objetivo de continuar en esta línea, se presentó el Proyecto de Investigación, Sistema de Información Geográfica integrado con un sistema logístico basado en el Problema de Ruteo de Vehículos, en el marco del programa de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral; el que se está desarrollando en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM), de la Unidad Académica Caleta Olivia, donde el objetivo general es la investigación y el desarrollo en nuevas tecnologías basadas en Sistemas Inteligentes y Software Libre.

## Introducción

Como ya fuera mencionado anteriormente, en este proyecto se abordan dos temáticas diferentes.

Por un lado, los Sistemas de Información Geográfica, cuyos antecedentes datan de varias décadas; se han posicionado como una tecnología básica, imprescindible y poderosa para capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y presentar datos espacialmente referenciados. Se trata por lo tanto, de una categoría dentro de los sistemas de información que se especializa en manejar datos espaciales, con las particularidades y requerimientos que ello conlleva. Cabe aclarar que un SIG no es un

programa de PC, ni un software tipo CAD. Lo específico de un SIG reside en rasgos tales como su capacidad para almacenar grandes masas de información georeferenciada (operación de obtener y asignar coordenadas geográficas a una información que carece de ella), o su potencia para el análisis de la misma, que le hacen idóneo para abordar problemas de planificación y gestión, es decir para la toma de decisiones. [Moreno Jimenez et al. 2006]

Estos sistemas permiten separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva capa que no podríamos obtener de otra forma.

Los SIG tienen dos componentes fundamentales: a) Un modelo de datos en el que se almacenan las características de los objetos geográficos, de manera similar a como se almacenan en una base de datos convencional, junto con información posicional (coordenadas) y las relaciones entre los distintos objetos, b) Una colección de funciones que nos permiten interrogar a la base de datos y obtener respuestas, ya sea en base a listados o a imágenes (mapas).

Una característica esencial de los SIG, es que intentan capturar en su modelo, datos de la realidad, y no una imagen determinada de ésta. [Rubio Barroso 1997]

Como se dijo anteriormente, los datos (en este caso datos espaciales), son uno de los elementos más importante en un SIG, por esto es imprescindible conocer cuales son los tipos de datos característicos en estos sistemas. Para un SIG los tipos de datos son:

*Imágenes Raster:* En esta representación de datos, el espacio se divide en un conjunto de celdas uniformes usualmente cuadradas. Las variaciones en la representación geográfica son expresadas en las propiedades de cada una de las celdas. Estas celdas, son llamadas generalmente píxeles. Una de las maneras más comunes de obtener este tipo de datos es por medio de satélites, los cuales capturan la información de este tipo, para que luego distintos organismos la analicen y distribuyan. Con este tipo de representación se pierde todo detalle sobre las variaciones entre las celdas, y por eso a cada celda se le asigna un único valor.

*Datos Vectoriales:* Un mapa en representación vectorial, es un registro de puntos, líneas o áreas. En este modelo, los puntos, líneas y polígonos son codificados y almacenados como una colección de coordenadas x, y. En la representación vectorial, las líneas son capturadas como puntos conectados por líneas rectas. Un área es capturada como una serie

de puntos o vértices conectados también por líneas rectas. Las líneas rectas entre los vértices explican por qué a las áreas en representación vectorial son llamadas polígonos, y estos términos se usan indistintamente. Las líneas son tomadas de la misma forma, y el término de polilínea, sirve para describir una línea curva representada por una serie de segmentos rectos conectado por vértices. Estos tipos de datos se presentan como capas en un sistema de información geográfico; junto a éstos hay información de tipo tabular que enriquece a los tipos de datos antes mencionadas.

Antes de la disponibilidad de la tecnología SIG, la forma en que se tomaban decisiones no siempre era la más adecuada. Se confiaba en mapas tradicionales y tablas estadísticas impresas y los registros se mantenían guardados en departamentos o en sectores aislados de la organización, por lo cual se generaba una inevitable pérdida de tiempo, duplicación de esfuerzos y reducción en la eficiencia de las prestaciones.

Más allá de todo esto, se sumaba la dificultad de mantener actualizadas las tablas, los mapas y la cartografía. Esto llevaba a que muchos análisis no se pudieran realizar, ya que ni siquiera con los mejores mapas, tablas o cartas era posible la evaluación de una buena decisión.

Se pueden enumerar las siguientes ventajas al momento de implementar un SIG:

- El SIG posibilita la integración de fuentes diversas, tales como elementos cartográficos, datos estadísticos, planillas de cálculo, bases de datos tradicionales, fotos aéreas e imágenes satelitales.
- El SIG provee las herramientas necesarias para analizar modelos, localizar eventos, medir cuán distante están dichos eventos, encontrar la mejor manera de llegar a un destino y explorar cómo los problemas se relacionan con los demás.
- Los análisis realizados permiten revelar relaciones, modelos y tendencias.
- La información existente puede combinarse y reasociarse, generando nueva información.
- Ofrecen la ventaja adicional, que a diferencia de lo que sucede con los mapas tradicionales, los mapas SIG cambian dinámicamente en la medida que los datos alfanuméricos son actualizados.
- La relación estrecha que se establece entre los mapas digitales y la información asociada a los elementos gráficos contenidos en bases de datos, da una nueva dimensión al tratamiento de la información.

Es importante conocer además, las desventajas iniciales que presenta la implementación del SIG.

- En primer lugar una fuerte inversión inicial en software (en caso de no ser libre) y hardware. Muchos autores coinciden en señalar que más del 70% de los recursos para implementar un SIG, se invierten en la generación de las bases de datos y en la creación de los mapas digitales. Esto lleva a la implícita capacitación de diferentes miembros de la organización.

- En segundo lugar, se debe agregar el conflicto de más difícil solución: se requieren cambios sustantivos de la organización para introducir una base de datos centralizada y un nuevo manejo de la información, con los concebidos cambios que esto implica. [Frassia]

Por otro lado, los problemas de ruteo de vehículos o de distribución física de mercancías desde almacenes a clientes aparecen en la literatura científica como Vehicle Routing Problems, más comúnmente como VRP. También se puede encontrar, aunque en menor medida, referencias como Vehicle Scheduling Problems. En términos generales, un problema de rutas de vehículos consiste en determinar las rutas de un conjunto (o flota) de vehículos que deben iniciar un recorrido (y finalizarlo) en los almacenes (o depósitos) para atender la demanda de servicio de un conjunto disperso de clientes sobre una red. En la literatura, algunos autores han intentado clasificar y simplificar la gran variedad de posibles problemas, como por ejemplo los criterios propuestos por [Bodin y Golden, 1981] y [Desrochers et al. 1990]; que intentan reflejar y ordenar las principales características en aspectos como: el almacén, la flota, la demanda, el servicio y el objetivo a alcanzar. Esta clasificación de los problemas, ha facilitado tanto el desarrollo de modelos matemáticos y estrategias de resolución, como la toma de decisiones por parte de las empresas

Uno de los primeros estudios que trataron el problema de ruteo de vehículos se remonta al año 59, en este trabajo Dantzing y Ramser [Dantzing & Ramser, 1959] tratan un problema de despacho con camiones, que surge como una generalización del problema clásico del agente viajero (TSP) en el que un vendedor tiene que visitar una serie de clientes una sola vez, para luego volver al lugar de partida, construyendo un camino hamiltoniano sobre el grafo constituido por los clientes (vértices) y los caminos posibles entre un cliente y otro (aristas). El VRP tiene por objetivo encontrar las rutas que recorran cada uno de los vehículos (ubicados en un depósito) de manera que se satisfagan los requerimientos de los clientes, las restricciones operativas y se minimice el costo total de transporte.

En la historia reciente del VRP ha habido una evolución constante en la calidad de las metodologías resolutivas utilizadas en este problema, pertenecientes tanto al campo de

investigación exacto como al heurístico. De todas formas, dada la dificultad del problema, ningún método exacto conocido es capaz de encontrar el óptimo para instancias que contengan más de 50 clientes [Golden et al. 1998].

Una recopilación de técnicas exactas de solución existentes para los problemas de ruteo de vehículos puede encontrarse en [Laporte 1992]. No obstante, los de gran dimensión resultan imposibles de solucionar en tiempo polinomial, por lo que el VRP es un problema NP-hard [Machado et al. 2000] y [Olivera 2004], donde no es posible alcanzar una solución óptima y dependiendo de las características especiales de clientes, locaciones y producto/servicio, requiere la elaboración de una metodología de solución específica con la cual se aproxime lo mejor posible al óptimo. Debido a estas razones y a la relevancia práctica del VRP se han propuesto varias soluciones a este problema haciendo uso de heurísticas y metaheurísticas. Algunos ejemplos incluyen Tabu Search [Cordeau 1997], Simulated Annealing [Osman 1993], Ant Colony [Bell & McMullen 2004], Algoritmos Evolutivos [Bäker & Ayechev 2003], [Xu et al. 2005], entre otras.

Con el propósito de poder integrar las tecnologías que brindan los sistemas de información geográfica, con diferentes metaheurísticas para resolver problemas de optimización, existe actualmente un grupo de desarrollo en la Universidad Politécnica de Valencia, <http://personales.upv.es/aroedru> que aborda esta problemática a través de una herramienta informática donde el objetivo está planteado para facilitar la resolución de problemas reales de flotas de vehículos capacitados (CVRP), el cálculo de rutas, y su gestión. Aquí se integran inteligentemente tres elementos: el SIG, la información del sistema logístico (VRP-XML), los modelos matemáticos y técnicas de optimización combinatoria que conjuntamente permiten resolver los problemas de rutas para flotas de vehículos, [Toth et al. 2001].

El éxito en la gestión logística depende de la capacidad de integración (información y sistemas, proveedores y clientes, recursos y decisiones, etc.). Por ello, el proyecto desarrollado en la Universidad de Valencia, ha prestado especial interés a la integración necesaria para la optimización del transporte, la toma de decisiones y la gestión de flotas.

Para el modelado, resolución y análisis de este tipo de problemas, es necesario gestionar una enorme cantidad de información: datos sobre las características de la flota de vehículos, los planes de ruta, los cargamentos, depósitos y retiros, información geográfica, las restricciones, la función objetivo, etc. Tal y como se explica en [Rodríguez 2006], se trata de una estructura de etiquetas VRP-

XML que define los elementos de un documento que facilita el intercambio de datos en el contexto de los VRP. El módulo VRP-XML se enlaza fácilmente con la planificación de recursos empresariales (ERP), compartiendo datos de: clientes, servicios y órdenes de trabajo, información sobre costos de operaciones, disponibilidad e información sobre los recursos logísticos (flota de vehículos), franjas horarias y otro tipo de restricciones. Además este tipo de problemas son dinámicos y cambian en el tiempo, sus datos deben de estar soportados por una estructura flexible, capaz no sólo de atender tal cantidad de información según los actuales requerimientos de la empresa, sino también los futuros del sistema logístico (ampliación del número de clientes, de la flota de vehículos, nuevas restricciones, etc.).

Los problemas CVRP son complejos de modelar y de resolver, ya que pertenecen al tipo de problemas NP-completo. Quien gestiona y decide en el sistema logístico, demanda una herramienta que le haga transparente el proceso de modelado y optimización (o cálculo de soluciones factibles), pero que en cambio le permita explorar con detalle la bondad de la soluciones ayudándole en su toma de decisiones y le facilite la gestión (órdenes de trabajo, control, etc.).

## Líneas de Investigación y desarrollo

Este proyecto tiene como objetivo principal, integrar un Sistema de Información Geográfica con un modelo de optimización de ruteo de vehículos (*Vehicle Routing Problem*) realizando el cálculo de las rutas y su gestión logística.

Este objetivo podrá lograrse desde el abordaje de dos temáticas específicas:

- El estudio del arte sobre herramientas tecnológicas existentes dentro del ámbito de software libre, que permitan la integración de la resolución de un problema real en un Sistema de Información Geográfica y,
- La investigación, desarrollo y aplicación de metaheurísticas para la optimización de recorridos que facilite la resolución de problemas reales de flotas de vehículos capacitados.

## Resultados y Objetivos

En el marco de este proyecto, se busca promover la relación Universidad – Empresa, a través de convenios realizados con empresas dedicadas al rubro de servicios petroleros (para distribución de personal, recorrido de locaciones, etc.), y la empresa Teleservicios Caleta Olivia S.E. (prestadora de servicios de telecomunicaciones e Internet en Caleta Olivia y Cañadón Seco).

En cuanto a la relación del proyecto con las actividades de Formación de Grado, se propone su vinculación con los espacios curriculares, Programación, Modelos y Simulación, Sistemas Inteligentes Artificiales. Además de promover la generación de espacios donde los alumnos puedan desarrollar sus proyectos finales de la carrera Ingeniería en Sistemas.

## Formación de Recursos Humanos

Un integrante obtuvo su título de Ingeniero en Sistemas en esta línea de investigación, con el desarrollo de un *Sistema de Información Geográfica para Gestionar la Accesibilidad a Información sobre Caleta Olivia*.

Dos alumnos de la carrera Ingeniería en Sistemas, están en proceso de definición de su plan de tesis para el desarrollo del Proyecto Final para obtener su titulación, en temáticas que estarían orientadas a las propuestas como líneas de desarrollo en este proyecto.

Un integrante, actualmente cursando la Maestría en Informática y Sistemas de la UNPA, ha comenzado a definir su plan de tesis en temas afines a los propuestos en el proyecto.

Se prevé para el segundo semestre del año, la incorporación de un alumno becario con el objetivo de seguir expandiendo esta línea en la comunidad de la UACO.

## Referencias

- [Bäker & Ayechev 2003] Bäker B.M. and Ayechev M.A., A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, pages 787-800. 2003
- [Bell & McMullen 2004] Bell J. and McMullen P., Ant Colony Optimization techniques for the vehicle routing problem, *Advanced Engineering Informatics*, pages 41-48. 2004
- [Bodin y Golden 1981] Bodin, L., Golden, B. (1981). Classification in Vehicle-Routing and Scheduling, *Networks*, 11(2), pp. 97-108.
- [Cordeau 1997, Cordeau J-F, Gendreau M. and Laporte G. A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks*, 30(2): 105-119, 1997.
- [Dantzing & Ramser 1959] Dantzing G.B. and Ramser J.H., "The Truck Dispatching Problem" *Management Science*, Vol. 6, Nro. 1 (Oct., 1959), pp 80-91.
- [de San Pedro et al. 2009a] de San Pedro Maria Eugenia, Serón Natalia, Cristian Montenegro - Sistema de información geográfica aplicado a



- turismo y patrimonio histórico y cultural - 11° Workshop de Investigadores de Ciencias de la Computación WICC'09, pp.438-441 ISBN 978-950-605-570-7, Universidad Nacional de San Juan, San Juan – Mayo 2009.
- [Desrochers et al. 1990] Desrochers, M., Lenstra, J. K., Savelsbergh, M. W. P. (1990). A Classification Scheme for Vehicle-Routing and Scheduling Problems, *European Journal of Operational Research*, 46(3), pp. 322-332.
- [Frassia] Frassia Mercedes “El GIS en acción” Curso online, pág. 9 – 10. <http://www.cursogis.com.ar/cursos/6/GIS>.
- [Golden et al. 1998] Golden B.L., Wasil E.A., Kelly J.P., and Chao I-M. Fleet Management and Logistics, chapter The Impact of Metaheuristics on Solving the Vehicle Routing Problem: algorithms, problem sets, and computational results, pages 33-56. Kluwer Academic Publishers, Boston 1998
- [Laporte 1992] Laporte, G., The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, 1992, pp. 345-358.
- [Machado et al. 2000] Machado, P., Tavares, J., Pereira, F. and Costa, E., Vehicle Routing Problem: Doing it the Evolutionary Way. 2000.
- [Moreno Jimenez et al. 2006] Moreno Jiménez A., Cañada Torrecilla R., Cervera Cruaños B., Fernandez García F., Gómez García N., Martínez Suárez P., Prieto Flores M., Rodríguez Esteban J., Vidal Domínguez M. “Sistemas y Análisis de la Información Geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS” Alfaomega Grupo Editor, México, Julio 2006
- [Olivera 2004] Olivera, A., Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 2004.
- [Osman 1993] Osman I. H.. Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the vehicle routing problem. *Ann. Operations Research* 40(1), pages 421-451. 1993.
- [Rodríguez 2006] Rodríguez, A. (2006). VRP-XML: lenguaje de marcas extensible para los problemas de rutas de vehículos. X Congreso de Ingeniería de Organización, Valencia.
- [Rubio Barroso 1997] Rubio Barroso “Los Sistemas de Información Geográficos: Origen y perspectivas” Revista general de información y documentación, ISSN 1132-1873, Vol. 7, N° 1, 1997, Págs. 93-106
- [Serón et al. 2008] Serón N., Montenegro C., Vidal P., Villagra S., Orozco S., Valdéz J., Díaz F., de San Pedro M. -Implementación de un Sistema de Información Geográfica en Municipios de la Zona Norte de la Provincia de Santa Cruz. X Workshop de Investigadores de Ciencias de la Computación - WICC 2008, La Pampa, Argentina, Mayo 2008, pp. 530-533.
- [Serón et al. 2010a] Serón N., Montenegro C., Valdez J., de San Pedro M.E. – Sistema de Información Geográfica Aplicado al Turismo y Patrimonio Histórico y Cultural - II Jornadas de Extensión Universitaria UNPA, Caleta Olivia, 18 de Agosto de 2010.
- [Serón et al. 2010b] Serón N., Montenegro C., Valdez J., de San Pedro M.E. – Sistema de Información Geográfica Aplicado al Turismo y Patrimonio Histórico y Cultural - III Jornadas RedVITEC, Mendoza, 25 y 26 de Noviembre de 2010.
- [Toth et al. 2001] Toth, P., Vigo, D. (2001). An overview of vehicle routing problems. In the Vehicle Routing Problem. Ed. Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia.
- [Xu et al. 2005] Xu Y L, Lim M. H. and Er M. J.. Investigation on Genetic Representations for Vehicle Routing Problem, IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics, pages 3083- 3088 2005